

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-146472

(43) 公開日 平成8年(1996)6月7日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

片内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 F 1/35

G 0 2 B 6/00

H 0 4 B 10/02

G 0 2 B 6/ 00

C

H 0 4 B 9/ 00

M

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平6-280979

(22) 出願日

平成6年(1994)11月15日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 中沢 正隆

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 久保田 寛和

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

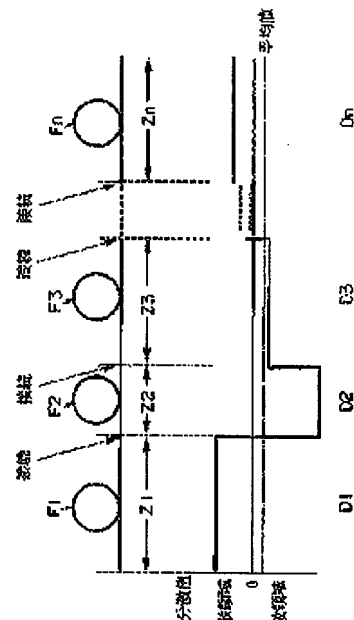
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

(54) 【発明の名称】 光ソリトン通信方法

(57) 【要約】

【目的】 経済的かつ実用的なソリトン通信方法を提供する。

【構成】 それぞれ長さ  $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$  と分散値  $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$  を有し、シリアルに接続された光ファイバ  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$  は、ソリトン通信を可能にするため、その群速度分散の値の距離による平均値が異常分散となるように選択されている。つまり、この条件を満たす範囲内で、各光ファイバ  $F_1 \sim F_n$  の長さ  $Z_1 \sim Z_n$  および分散値  $D_1 \sim D_n$  を自由に選択することができ、光ファイバの製作における歩留まりが飛躍的に向上される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ソリトンを用いた光通信方法において、光ファイバの分散特性を正常分散領域から異常分散領域にまたがって大きく変化させ、その群速度分散の値の距離による平均値が異常分散となるソリトン伝送線路を用い、通常のソリトンを伝送することを特徴とする光ソリトン通信方法。

【請求項2】 光ソリトンを用いた光通信方法において、光ファイバの分散特性を正常分散領域から異常分散領域にまたがって大きく変化させ、その群速度分散の値の距離による平均値が正常分散となるソリトン伝送線路を用い、暗ソリトンを送送することを特徴とする光ソリトン通信方法。

【請求項3】 光ソリトンを用いた光通信方法において、光ファイバの分散特性を正常分散領域から異常分散領域にまたがって大きく変化させ、その群速度分散の値の距離による平均値が異常分散となる波長にて通常のソリトン、また群速度分散の値の距離による平均値が正常分散となる波長にて暗ソリトン、群速度分散の値の距離による平均値がゼロとなる波長にて線形信号を、同時に波長多重伝搬させることを特徴とする光ソリトン通信方法。

【請求項4】 請求項3記載の光ソリトン通信方法において、通常のソリトン、暗ソリトンおよび線形信号うちの任意の2信号の組み合わせを用いることを特徴とする光ソリトン通信方法。

【請求項5】 請求項1～4のいずれか1に記載の光ソリトン通信方法において、光ファイバの損失を光増幅器により補償することにより、多中継伝送することを特徴とする光ソリトン通信方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信に関するものであり、特に光ソリトン通信方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光ソリトンを送送させるための伝送線路には単一モード光ファイバを使用するが、従来その波長分散特性は異常分散特性を持つことが必要であるとされていた。さらに、最近の大容量の光通信のためには群速度分散の値（以下、分散値という）を $1\text{ps/km/nm}$ 程度以下と小さい値にする必要があり、かつ分散値の変動もその半分以上と小さく抑える必要がある。このため、従来、上記の条件を満たす光ファイバのみを選別し、ソリトン伝送用の光ファイバ線路の作成に用いていた。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、光通信の伝送線路である光ファイバを作製する場合には、その分散

く、一定の値である伝送路が好ましいが、特定の分散値を持つ光ファイバのみを選別する場合には、光ファイバの歩留まりが悪くなってしまう。これは、光ソリトン伝送線路のコスト高を招き、実用化の際の大きな障害となっていた。

【0004】 本発明は、この問題を解決するために、さまざまな分散値を持つ光ファイバを用いてソリトン伝送を行えるようにした新しい通信方法であり、経済的かつ実用的なソリトン通信を実現することを目的としている。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】 光ソリトンには「ソリトン周期」と呼ばれる特性距離が存在し、ソリトン周期に比べて短い距離で生じる各種の変動に対してはソリトンは安定であるという特性がある。この効果を利用して、異常分散（負の分散）領域で僅かに分散が変動する場合にはソリトンが安定に伝送できるという報告がある

〔1〕 L.F.Mollenauer, S.G.Evangelides, and H.A.Haus: "Long distance soliton propagation using lumped amplifiers and dispersion-shifted fiber", IEEE J. Lightwave Technol., vol. 9, 1991, pp. 194-197. [2] A.Hasegawa and Y.Kodama: "Guiding-center soliton in fibers with periodically varying dispersion", Opt. Lett., 1991, vol. 16, pp. 1385-1387.

【0006】 本発明では、今まではソリトンが安定に存在し得ないと言われていた正常分散（正の分散）領域が存在するような伝送路を用いた場合にも、平均の分散が異常分散（すなわち負の分散）であればソリトンが伝送できるということを新しく示し、この効果を利用する。

【0007】 具体的にはソリトン周期に比べて短い長さの光ファイバをつなぎ合わせ、その平均の分散値が異常分散特性を持つようにすることを特徴とする。このように分散を大きく正負に振り、その平均値が負の値となるようにした光伝送路にソリトン周期よりも短い間隔で光増幅器を挿入しソリトンの多中継伝送を実現する。

【0008】 また、請求項2記載の発明においては、平均の分散値が正常分散特性を持つようにし、暗ソリトンを送送させる。

## 【0009】

【作用】 本発明を用いることにより、正および負のさまざまな分散値を持つ光ファイバをソリトン伝送を行うための伝送線路として使用できるため、経済的にソリトン伝送線路を作成でき、したがって、経済的かつ実用的なソリトン通信が実現できる。

## 【0010】

【実施例】 以下本発明の実施例を図面を用いて詳細に説明する。

<第1実施例> 図1は本発明を用いたソリトン伝送線路

ファイバF<sub>1</sub>~F<sub>n</sub>はそれぞれ長さZ<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub>...Z<sub>n</sub>と、分散値D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>...D<sub>n</sub>を有し、シリアルに接続されている。

【0011】n本のファイバF<sub>i</sub>(i=1~n)が各々分散D<sub>i</sub>, 長さZ<sub>i</sub>であるとする、その平均の分散値D<sub>ave</sub>は、

【数1】

$$D_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n Z_i} \quad \dots (1)$$

と表される。

【0012】本実施例においては、この平均値が異常分散となるように各ファイバF<sub>i</sub>の分散並びに長さを選んでいる。たとえば、Z<sub>1</sub>=60km, D<sub>1</sub>=-3ps/km/nmのファイバと、Z<sub>2</sub>=30km, D<sub>2</sub>=+3ps/km/nmのファイバをつなぐと、平均の分散は-1ps/km/nmとなる。

【0013】一般に光ファイバを制作する場合、その平均の分散値は設計値D<sub>0</sub>を中心として分布する。すなわち、各ファイバの分散値は設計値D<sub>0</sub>を中心として、ほぼ対称に分布するため、D<sub>0</sub>より分散値が大きいファイバとD<sub>0</sub>より分散値が小さいファイバはほぼ同じ長さだけ作られる。

【0014】したがって、異常分散となるように設計値D<sub>0</sub>を予め設定しておけば、その結果得られたファイバを組み合わせる平均値が異常分散となる伝送線路を作成することは容易であり、光ファイバの製作における歩留まりを飛躍的に向上することができる。

【0015】一方、ファイバの長さZ<sub>i</sub>はソリトン周期Z<sub>sp</sub>と同等ないし短い方が好ましい。ここで、ソリトン周期Z<sub>sp</sub>は、次式より与えられる。

【数2】

$$Z_{sp} = 0.322 \frac{\pi^2 c}{\lambda^2} \frac{t^2}{|D_{ave}|} \quad \dots (2)$$

但し、cは真空中の光速、λは光信号の波長、tはパルスの半値全幅を示す。このように、ソリトン周期Z<sub>sp</sub> \*

$$(-i) \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{1 - \exp(-2\Gamma L_a)}{2\Gamma L_a} |u|^2 u \quad \dots (4)$$

で与えられる。ここでΓは光ファイバの規格化した損失であり、光のパワーの損失αに換算するとα=2Γである。

\*は、平均の分散値の絶対値|D<sub>ave</sub>|によって定義される。

【0016】本実施例においては、各ファイバの組み合わせにより伝送線路を作成するため、平均の分散値の絶対値が0.2ps/km/nm以内といった非常に小さな値をもつ伝送線路を容易に構成することができる。たとえば、パルス幅20psのソリトンに対して、平均の分散値が-0.2ps/km/nmの場合、ソリトン周期は793kmとなる。

10 【0017】<第2実施例>図2は本発明を適用した多中継伝送システムの構成例を示す図である。この図において、1は送信装置、3は光増幅器、4は受信装置である。また、2、2', 2''はそれぞれソリトン伝送線路であり、図1に示したように平均として異常分散特性を持つ光ファイバによってそれぞれ構成される。また、図2においては、模式的に、正常分散を持つ部分を太い実線、異常分散をもつ部分を細い実線で示しているが、組み合わせ方はこの図に示したものの以外でも、平均の分散値が異常分散となる条件を満たすものであればよい。

20 【0018】送信装置1は光ソリトン信号を作り出し、伝送線路2に導き伝送する。光増幅器3...は、各伝送路2, 2', 2''...により伝送された信号を増幅し、減衰を補償する。このようにして伝送と増幅を繰り返した後、所望の距離において受信装置4によって信号を復元する。

【0019】次に、多中継伝送の入力ソリトンパワーについて述べる。分散値がD<sub>ave</sub>である場合、N=1ソリトンのパワーP<sub>1</sub>は

【数3】

$$30 P_1 = 0.776 \frac{\lambda^3}{\pi^2 c n_2} \frac{|D_{ave}|}{t^2} A_{eff} \quad \dots (3)$$

で与えられる。ここで、n<sub>2</sub>は光ファイバの非線形屈折率、A<sub>eff</sub>は光ファイバの有効断面積である。

【0020】このようなソリトンの伝播を記述する方程式は、光増幅器3の間隔をL<sub>a</sub>とし、ソリトンの電場をuとすると、

【数4】

【0021】光ファイバに結合させるパワーP<sub>in</sub>は式(3)、(4)より

【数5】

$$P_{in} = A^2 P_1$$

$$\dots (5)-1$$

但し

$$A = \left[ \frac{aL_a}{1 - \exp(-aL_a)} \right]^{1/2} \dots (5)-2$$

である。たとえば、 $L_a = 90 \text{ km}$ 、損失  $0.25 \text{ dB/km}$  ( $\alpha = 0.058 \text{ km}^{-1}$ ) の場合、 $A = 2.29$  となる。 $|D_{ave}| = 0.2 \text{ ps/km/nm}$ 、 $t = 20 \text{ ps}$ 、 $A_{eff} = 50 \mu\text{m}^2$  とすると  $P_1 = 3.8 \text{ mW}$  であるから、本実施例の光ソリトン伝送用パワーは送り出して  $P_{in} = 20 \text{ mW}$  となる。ここで注意したいのは、 $P_1$  は平均分散  $|D_{ave}|$  によってきまるが、振幅  $A$  は中継間隔  $L_a$  と光ファイバの損失  $\alpha$  のみによって決定されることである。

【0022】図3は、計算機シミュレーションによって求めた多中継伝送システム(図2参照)における光ソリトン伝送後の信号波形を示した図であり、伝送線路の分散値と、入力信号に  $2^i - 1$  の疑似ランダム信号を用いた場合に得られた伝送後のアイパターンとの関係を示している。

【0023】このうち、図3(ア)は、図2の伝送線路  $2, 2^1, 2^2, \dots$  として、分散値  $+2.0 \text{ ps/km/nm}$  のファイバ  $30 \text{ km}$  と分散値  $-1.75 \text{ ps/km/nm}$  のファイバ  $60 \text{ km}$  とをつなぎ、中継間隔(光増幅器3の間隔  $L_a$ )  $90 \text{ km}$  にわたる平均の分散値を  $-0.5 \text{ ps/km/nm}$  とし、 $90 \text{ km}$  ごとに光増幅を行い総計  $1170 \text{ km}$  伝搬した後の信号波形を示した図である。

【0024】図3(イ)は、図2の伝送線路  $2, 2^1, 2^2, \dots$  として、分散値  $+2.0 \text{ ps/km/nm}$  のファイバ  $30 \text{ km}$  と分散値  $-1.3 \text{ ps/km/nm}$  のファイバ  $60 \text{ km}$  とをつなぎ、 $90 \text{ km}$  の平均の分散値を  $-0.2 \text{ ps/km/nm}$  とし、 $90 \text{ km}$  ごとに光増幅を行い総計  $1170 \text{ km}$  伝搬させた後の信号波形を示した図である。

【0025】図3(ウ)は、図2の伝送線路  $2, 2^1, 2^2, \dots$  として、分散値  $+7.4 \text{ ps/km/nm}$  のファイバ  $30 \text{ km}$  と分散値  $-4.0 \text{ ps/km/nm}$  のファイバ  $60 \text{ km}$  とをつなぎ、 $90 \text{ km}$  の平均の分散値を  $-0.2 \text{ ps/km/nm}$  とし、 $90 \text{ km}$  ごとに光増幅を行い総計  $1170 \text{ km}$  伝搬させた後の信号波形を示した図である。

【0026】これらの図3(ア)、(イ)、(ウ)に示すように、正常分散領域の光ファイバを伝送路に多用しても、上述した条件を満たすように平均の分散値  $D_{ave}$

散を変化させた場合にもソリトンを安定に伝搬させることができる。

【0027】ここで、 $D_{ave} = 0$  となる波長に光信号波長を設定すると、このソリトン伝送路をそのまま線形の伝送路にすることができる。従って、 $D_{ave} < 0$  となる波長に設定した信号光により上述した通常のソリトン(明ソリトンともいう)を送り、同時に、 $D_{ave} = 0$  となる波長に設定した信号光により線形信号を送る波長多重伝送が可能となる。このようにすると、ソリトンの波長多重伝送で問題となるソリトン間の相互作用も除去することができる。

【0028】さらに、 $D_{ave} > 0$  となる波長に設定した信号光により暗ソリトン(ダークソリトンともいう)を送ることも可能となる。また、信号光の波長を変えることにより、一つの伝送路で線形伝送からソリトン伝送へ変換できる特徴を持つ。以上の伝送設定波長と分散の変化の様子を図4に示す。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は従来不可能とされていた正負さまざまな分散値を持つ光ファイバによりソリトン伝送が可能となるため、光ソリトン用線路を作製する上での歩留まりが飛躍的に向上し、経済的なソリトン伝送が実現できる。

【0030】また、平均の分散値が  $-0.2 \text{ ps/km/nm}$  以内といった非常に小さな値をもつ伝送線路を、いろいろな分散値を持つファイバを組み合わせることにより容易に構成することができるため、ソリトン周期を長くでき、従来  $50 \text{ km}$  程度であったソリトン伝送の中継間隔を  $100 \text{ km}$  程度まで延長できる。これによって中継器の数を減らすことができ、経済的かつ実用的なソリトン伝送が実現できる。

【0031】さらに、ソリトン伝送の場合に問題となるゴードン=ハウス・ジッター ([3] J.P. Gordon and H.A. Haus: "Random walk of coherently amplified solitons in optical fiber transmission", Opt. Lett., 1986, Vol. 11, pp. 665-667.) についても、伝送線路の平均の分散値を小さくできるため、大幅に低減させることができ、より長距離の伝送が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を用いたソリトン伝送線路の構成例を示

を示した図である。

【図3】伝送路の分散値とソリトン伝送後の波形との関係を示した図である。

【図4】明ソリトン、暗ソリトン、および線形信号の波長多重伝送を説明するための図である。

【符号の説明】

F1～Fn 光ファイバ

\* Z1～Zn 光ファイバの長さ

D1～Dn 光ファイバの分散値

1 送信装置

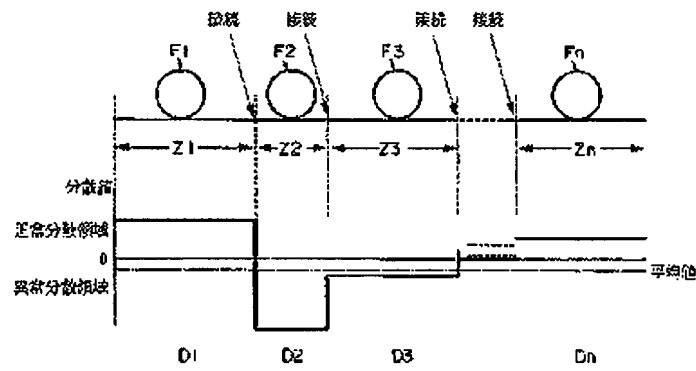
2, 2', 2'' ソリトン伝送線路

3 光増幅器

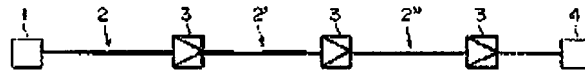
4 受信装置

\*

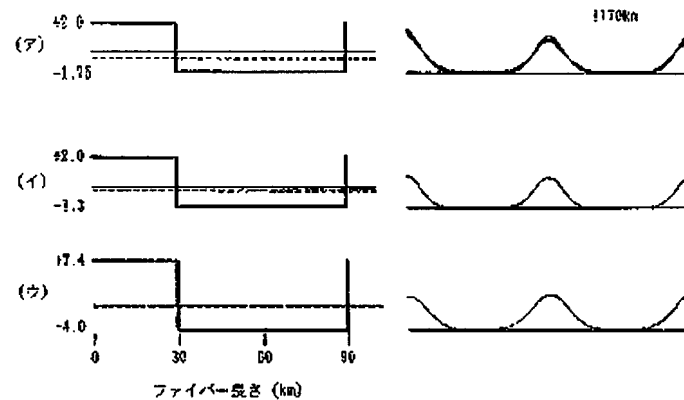
【図1】



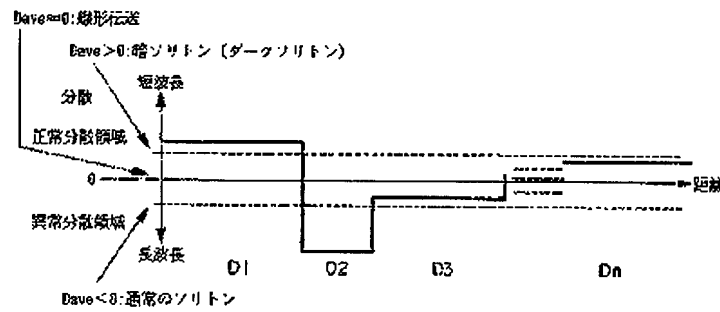
【図2】



【図3】



【図4】




---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

序内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 4 B 10/18

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 08146472 A

(43) Date of publication of application: 07.06.1996

(51) Int. Cl. G02F 1/35  
G02B 6/00, H04B 10/02, H04B 10/18

(21) Application number: 06280979  
(22) Date of filing: 15.11.1994

(71) Applicant: NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>  
(72) Inventor: NAKAZAWA MASATAKA  
KUBOTA HIROKAZU

## (54) OPTICAL SOLITON COMMUNICATION METHOD

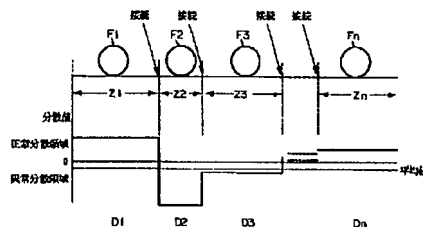
### (57) Abstract:

PURPOSE: To provide a cost effective and practicable soliton communication system.

CONSTITUTION: Optical fibers F1, F2, F3...Fn which respectively have lengths Z1, Z2, Z3...Zn and dispersion values D1, D2, D3...Dn and are connected serially are so selected that the average values by the distance of the values of their group velocity dispersion attain abnormal dispersion in order to enable soliton communication. Namely, the free selection of the lengths Z1

to Zn and dispersion values D1 to Dn of the respective optical fibers F1 to Fn is possible within the range satisfying these conditions. The yield in the production of the optical fibers F1 to Fn is thus greatly improved.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



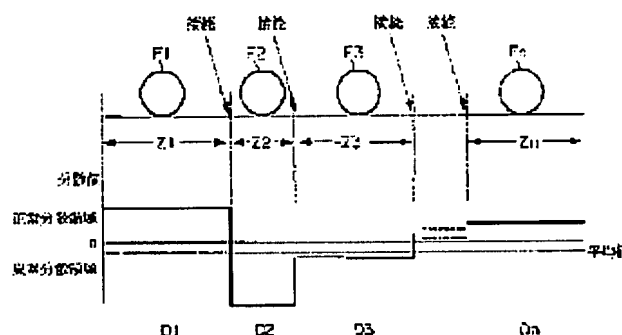
**OPTICAL SOLITON COMMUNICATION METHOD****Publication number:** JP8146472**Publication date:** 1996-06-07**Inventor:** NAKAZAWA MASATAKA; KUBOTA HIROKAZU**Applicant:** NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE**Classification:**

**- international:** *G02B6/00; G02F1/35; H04B10/02; H04B10/18; G02B6/00; G02F1/35; H04B10/02; H04B10/18; (IPC1-7): G02F1/35; G02B6/00; H04B10/02; H04B10/18*

**- European:****Application number:** JP19940280979 19941115**Priority number(s):** JP19940280979 19941115[Report a data error here](#)**Abstract of JP8146472**

**PURPOSE:** To provide a cost effective and practicable soliton communication system.

**CONSTITUTION:** Optical fibers F1, F2, F3...Fn which respectively have lengths Z1, Z2, Z3...Zn and dispersion values D1, D2, D3...Dn and are connected serially are so selected that the average values by the distance of the values of their group velocity dispersion attain abnormal dispersion in order to enable soliton communication. Namely, the free selection of the lengths Z1 to Zn and dispersion values D1 to Dn of the respective optical fibers F1 to Fn is possible within the range satisfying these conditions. The yield in the production of the optical fibers F1 to Fn is thus greatly improved.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



